

УДК 665.765: 621.89.017

А. Б. ГРИГОРОВ**ДОСЛІДЖЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ ЯКОСТІ РЕЦИКЛІНГОВИХ ПЛАСТИЧНИХ МАСТИЛ**

У статті наведено залежності між основними показниками якості пластичних мастил на прикладі рециклінгових мастил, яка отримана з відпрацьованого напівсинтетичного моторного масла SAE10W-40 API SL, яка загущена подрібненими твердими використаними поліетиленовими виробами. Вже згадана мастило є досить перспективною, оскільки її виробництво забезпечує утилізацію промислових і побутових відходів, значно знижуючи екологічне навантаження на навколишнє середовище. Отримана мастило має більш високі значення показників якості, в порівнянні з вітчизняними і зарубіжними аналогами. Встановлено, що між розглянутими стандартизованими показниками якості пластичного мастила спостерігається значущий ранговий кореляційний зв'язок. Отримані залежності між певними показниками якості мастила адекватно описуються квадратичними рівняннями регресії, про що свідчать дуже високі значення коефіцієнтів достовірності апроксимації R^2 . Отримані залежності можуть бути використані при прогнозуванні зміни якості пластичного мастила при експлуатації в вузлах механізмів і на стадії їх виробництва при розробці системи автоматичного керування технологічним процесом.

Ключові слова: пластичне мастило, базова олива, загущувач, поліетилен, показник якості, кореляційний зв'язок.

А. Б. ГРИГОРОВ**ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА РЕЦИКЛИНГОВЫХ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК**

В статье приведены зависимости между основными показателями качества пластичных смазок на примере рециклинговой смазки, которая получена из отработанного полусинтетического моторного масла SAE10W-40 API SL, которая загущенная измельченными твердыми использованными полиэтиленовыми изделиями. Рассматриваемая смазка является весьма перспективной, так как ее производство обеспечивает утилизацию промышленных и бытовых отходов, значительно снижая экологическую нагрузку на окружающую среду. Получаемая смазка имеет более высокие значения показателей качества, по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами. Установлено, что между рассматриваемыми стандартизованными показателями качества пластичной смазки наблюдается значимая ранговая корреляционная связь. Полученные зависимости между определенными показателями качества смазки адекватно описываются квадратичными уравнениями регрессии, о чем свидетельствуют очень высокие значения коэффициентов достоверности аппроксимации R^2 . Полученные зависимости могут быть использованы при прогнозировании изменения качества пластичной смазки при эксплуатации в узлах механизмов и на стадии их производства при разработке системы автоматического управления технологическим процессом.

Ключевые слова: пластичная смазка, базовое масло, загуститель, полиэтилен, показатель качества, корреляционная связь.

А. В. GRIGOROV**THE RESEARCH OF CORRELATION BETWEEN RECYCLING PLASTIC LUBRICANTS QUALITY INDICATORS**

The article shows the relationships between the main indicators of the quality of greases on the example of recycling lubrication, which is obtained from the used semi-synthetic motor oil SAE10W-40 API SL, which is thickened with crushed solid used polyethylene products. This lubricant is very promising, as its production provides utilization of industrial and domestic waste, significantly reducing the environmental burden on the environment. The resulting grease has higher quality values, compared to domestic and foreign counterparts. It is established that a significant rank correlation is observed between the standardized indicators of the quality of grease being considered. The obtained dependences between certain parameters of the lubricant quality are adequately described by the quadratic regression equations, as evidenced by very high values of the reliability coefficients of the approximation R^2 . The obtained dependences can be used when predicting the change in the quality of grease during operation in the nodes of mechanisms and at the stage of their production when developing a system for automatic control of the technological process.

Key words: plastic lubricant, base oil, thickener, polyethylene, quality index, correlation bond.

Вступ. Ринок пластичних мастил в Україні у своїй більшості складається з товарів всесвітньо відомих іноземних брендів, які тримають лідируючі позиції у сфері виробництва змащувальних матеріалів. Імпорт змащувальних матеріалів за останнє десятиріччя суттєво збільшувався з року в рік, що у остаточному рахунку сприяло повному заміненню матеріалів вітчизняного виробництва закордонними аналогами. З одного боку це зумовлено закупівлею нашою державою іноземної техніки, для сервісного обслуговування якої необхідно тільки застосування регламентованих у керівництві з технічної експлуатації змащувальних матеріалів. З іншого – гострим дефіцитом сировини для виробництва якісних товарних продуктів у кількості, яка повністю спроможна забезпечити внутрішній попит на змащувальні матеріали.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. У рамках реалізації Енергетичної

стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» основним напрямком в мінімізації імпорту змащувальних олив є розвиток виробництва змащувальних матеріалів, зокрема рециклінгових пластичних мастил, що базується на використанні у якості сировини промислових та побутових відходів.

Основною проблемою у реалізації технологій отримання товарної продукції з відходів, зокрема побутових до тепер була ідентифікація та сортування за видам відходів. Але прийняті від 1 січня 2018 року поправки до Закону України «Про відходи», що є аналогами директив, які діють у країнах ЄС [1, 2], дозволять залучати все більші обсяги відходів у промислові технології рециклінгу вторинної сировини. Такий підхід буде сприяти забезпеченню енергетичної незалежності нашої країни та частково вирішити екологічні проблеми, які пов'язані з

© Григоров А.Б., 2018

накопиченням цих шкідливих відходів.

Відмітимо, що відходи можуть успішно застосовуватися при виробництві змащувальних матеріалів, зокрема пластичних мастил.

Відомо, що у загальному вигляді пластичне мастило є складною багатокомпонентною системою, яку можна представити у вигляді суміші чотирьох основних компонентів: 70–90% (мас.) основа (базова олива), 5–15% (мас.) загущувач, 3–10% (мас.) наповнювачі і 2–5% (мас.) різних добавок.

У якості бази для виробництва мастил зазвичай використовують різні нафтові та синтетичні оливи, а також рослинні олії. Загущувачами у мастилах виступають металеві мила (натрію, кальцію, літію, алюмінію та інші), які є поверхнево-активними речовинами, виконують в мастилах одночасно різні функції. Ці основні компоненти в мастилі можуть бути успішно замінені на промислові та побутові відходи. Такі мастила можна віднести до рециклінгових мастил, застосування яких в різних вузлах та механізмах передбачає необхідність встановити залежності між основними показниками якості та виявити закономірність їх змінення.

Викладання основного матеріалу досліджень. Сьогодні деякі промислові відходи, зокрема відпрацьовані змащувальні оливи застосовуються у виробництві пластичних мастил. Так, на базі очищених відпрацьованих моторних олив, загущувача (графіту) та протизносної присадки авторами роботи [3] були отримані антифрикційні мастила. Відоме гідратоване кальцієве і вуглеводневе консерваційне пластичне мастило з високими захисними властивостями на базі використання очищених відпрацьованих моторних олив в якості дисперсійного середовища [4]. Іншими відходами, які останнім часом все частіше залучаються до технологічних процесів рециклінгу з подальшим використанням у якості джерела вуглеводневої сировини, є тверді полімерні відходи (поліетилен, поліпропілен тощо).

Зазначимо, що сьогодні добавки поліетилену використовуються для поліпшення реологічних властивостей [5] та підвищення водостійкості [6] пластичних мастил. Але питанню щодо виробництва рециклінгових пластичних мастил, в яких і дисперсійне середовище, і загущувач є вторинні енергоресурси, до тепер не приділялося достатньо уваги. У зв'язку з чим у лабораторних умовах нами було отримано рециклінгове пластичне мастило, яке складалося з напівсинтетичної відпрацьованої моторної оливи SAE 10W-40 API SL, подрібнених використаних твердих поліетиленових виробів з поліетилену низького і великого тиску (ПНТ і ПВТ).

Таке мастило має ряд значних переваг перед мастилом, що отримане за класичною технологією: дешеві компоненти; немає необхідності глибокої очистки базової оливи (достатньо видалити воду та механічні домішки); продукти окислення вуглеводнів, що накопичуються в оливі під час експлуатації

виступають як протиокислювальні, протизносні та адгезійні присадки.

Основні показники якості пластичних мастил, що регламентовані у нормативній документації, можна умовно розділити на кількісні (пенетрація (X_p), колоїдна стабільність ($X_{к.с.}$), випаровуваність (X_v), температура каплепадіння ($t_{кп}$) та сповзання ($t_{сп}$)) та якісні (зовнішній вигляд; корозійний вплив на метали та адгезійна здатність) [7, 8].

Саме кількісні показники були визначені для отриманого нами пластичного рециклінг мастила при різних концентраціях загущувача, яка коливалася в межах 1-10% (мас.), з подальшим встановленням між ними певної залежності (див. рис. 1–10).

Для отриманих залежностей розрахуємо індекс кореляції (R), який є мірою зв'язку між змінними, за наступною формулою[9]:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

де y_i – змінні; \hat{y}_i – значення змінних, розрахованих за рівнянням регресії; \bar{y} – середнє значення змінних.

Розрахункові значення індексу кореляції, який визначає потужність та напрямок зв'язку між змінними для нелінійних залежностей, наведено у табл. 1.

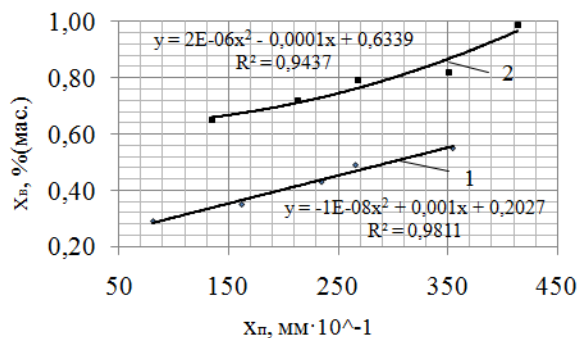


Рис. 1 – Залежність між випаровуваністю та пенетрацією мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

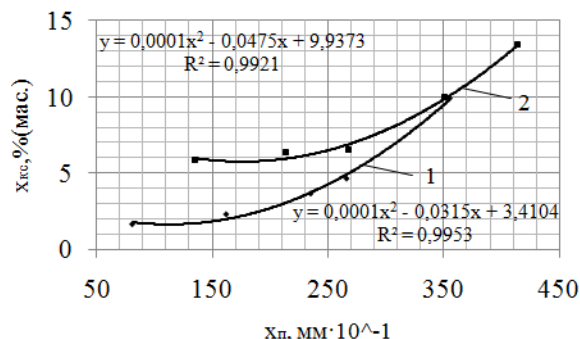


Рис. 2 – Залежність між колоїдною стабільністю та пенетрацією мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

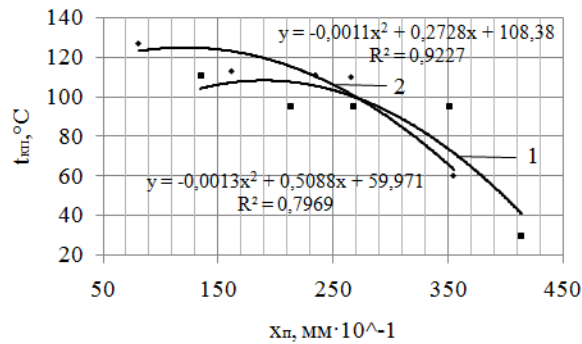


Рис. 3 – Залежність між температурою каплепадіння та пенетрацією мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

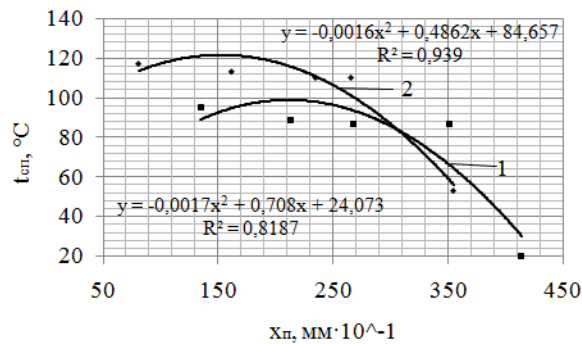


Рис. 4 – Залежність між температурою сповзання та пенетрацією мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

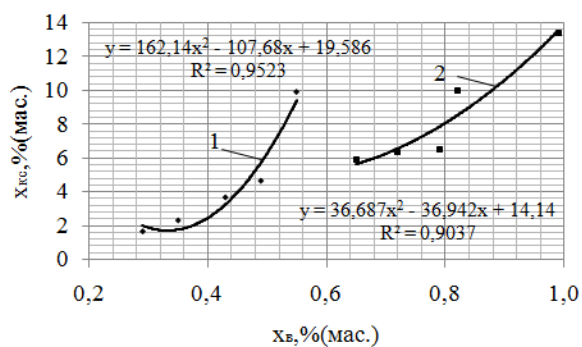


Рис. 5 – Залежність між колоїдною стабільністю та випаровуваністю мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

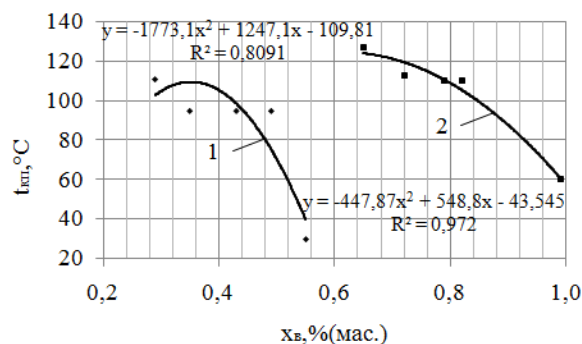


Рис. 6 – Залежність між температурою каплепадіння та випаровуваністю мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

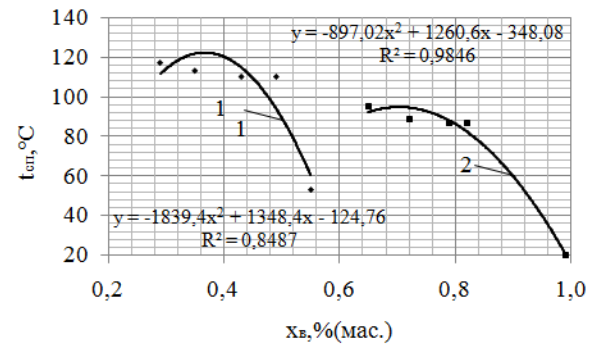


Рис. 7 – Залежність між температурою сповзання та випаровуваністю мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

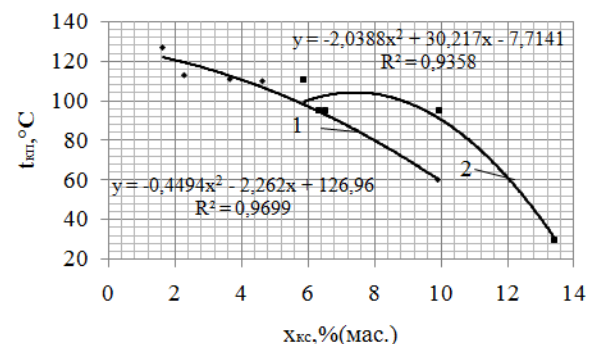


Рис. 8 – Залежність між температурою каплепадіння та колоїдною стабільністю мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

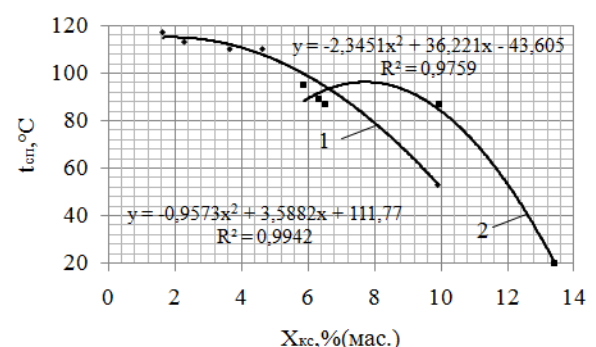


Рис. 9 – Залежність між температурою сповзання та колоїдною стабільністю мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

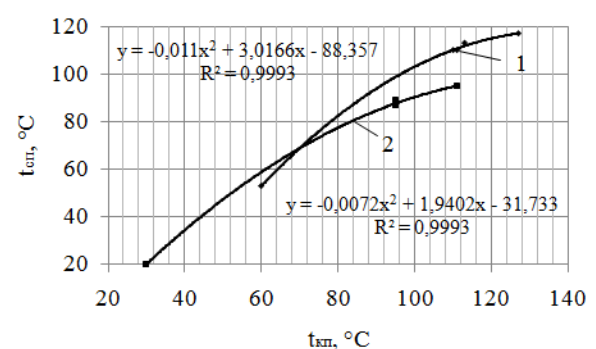


Рис. 10 – Залежність між температурою сповзання та температурою каплепадіння мастила: 1-ПНТ, 2-ПВТ

Таблиця 1 – Значення індексу кореляції для показників якості отриманих мастил

№ п/п	Найменування пари змінних показників	Індекс кореляції, R при $r=0,95$ для мастил	
		5% ПНТ	5% ПВТ
1	X_B-X_P	0,99	0,99
2	$X_{KC}-X_B$	0,97	0,95
3	$t_{KP}-X_B$	-0,90	-0,98
4	$t_{CP}-X_B$	-0,92	-0,99
5	$X_{KC}-X_P$	0,66	0,62
6	$t_{KP}-X_P$	-0,88	-0,96
7	$t_{CP}-X_P$	-0,96	-0,90
8	$t_{KP}-X_{KC}$	-0,98	-0,97
9	$t_{CP}-X_{KC}$	-0,99	-0,99
10	$t_{CP}-t_{KP}$	0,99	0,99

Для якісної оцінки тісноти зв'язку між показниками якості мастил скористаємося шкалою Чеддока [10]. Отже, враховуючи те, що індекс кореляції майже для всіх пар показників займає значення вище 0,70, то силу зв'язку між визначеними показниками якості мастил слід вважати високою або дуже високою. Виключенням є сила зв'язку між $X_{KC}-X_P$, її можна оцінити як примітну. Також, для оцінки тісноти зв'язку між визначеними показниками якості пластичних мастил визначався коефіцієнт рангової кореляції Спірмена.

Встановлено, що зв'язок для кожної пари X_B-X_P , $X_{KC}-X_B$, $X_{KC}-X_P$, $t_{CP}-t_{KP}$ – сильний та прямий. Для пар $t_{KP}-X_B$, $t_{CP}-X_B$, $t_{KP}-X_P$, $t_{CP}-X_P$, $t_{KP}-X_{KC}$, $t_{CP}-X_{KC}$ зв'язок сильний та зворотний. Коефіцієнт рангової кореляції статистично значимий і ранговий кореляційний зв'язок між усіма показниками є значимим.

Висновки. Проведені дослідження показали, що отримані залежності між визначеними показниками якості мастила адекватно описуються квадратичними рівняннями регресії, про що свідчать дуже високі значення коефіцієнтів достовірності апроксимації R^2 .

Практично для всіх пар розглянутих показників якості пластичних мастил спостерігається сильний кореляційний зв'язок. Це може бути зумовлено сутністю вибраних показників якості, які в тій або іншій мірі характеризують структуру пластичного мастила. Також, слід враховувати, що розглянуті мастила фактично виступають сумішшю двох компонентів: підготовлених базової оливи та полімеру – загущувача. При додаванні у цю суміш інших загущувачів, наповнювачів та присадок різного функціонального призначення, наведені залежності будуть дещо змінюватися.

Встановлені залежності і індекси кореляції між показниками якості, які розглянуті у роботі, а також між ними та динамічною в'язкістю і межею міцності можуть бути використані при експлуатації мастил в вузлах механізмів для прогнозування їхньої працездатності, та при розробці системи автоматизованого контролю якості на стадії виробництва пластичних мастил.

Список літератури

1. Council Directive 1999/31/EC on the landfill of waste. *Official Journal L* 182, 16 July 1999, pp. 1–19.
2. Directive 2008/98/EC of the European parliament and of the council. *Official Journal of EC L* 312/3, 22 November 2008, pp. 3–30.
3. Корнев А.Ю., Шихалев И.Н., Остриков В.В. Получение пластичных смазок на основе отработанных масел // *Наука в центральной России*. 2013. №6. С. 227–228.
4. Скобельцин А.С., Немец В.Л. Исследование возможности использования отработанных моторных масел в качестве дисперсионной среды мыльных смазок // *Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт*. 2005. №9. С. 32–37.
5. Ravi Dixena, Eltepu Sayanna, Rajendra Badoni. *Recycled and Virgin HDPEs as Bleed Inhibitors and Their Rheological Influences on Lubricating Greases Thickened with PP and mPP* // *Lubricants*. 2014. №2. P. 237–248.
6. Iheme C., Offurum J., Chukwuma F. Production and Blending of Sodium Based Water-Resistant Lubricating Greases from Petroleum and Petrochemical By-Products // *American Journal of Computer Science and Engineering Survey*. 2014. №2. P. 070–078.
7. Манг Т. Смазки. Производство, применение, свойства: справочник. СПб.: ЦОП «Профессия», 2010. 944 с.
8. Фукус И.Г., Шибряев С.Б. Состав, свойства и производство пластичных смазок. М.: Государственная академия нефти и газа им. И. М. Губкина, 1992. 153 с.
9. Харченко М.А. Корреляционный анализ: учебное пособие для вузов. Воронеж: ВГУ. 2008. 31 с.
10. Ферстер Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа. Финансы и статистика, 1983. 302с.

References (transliterated)

1. Council Directive: 1999/31 / EC on the landfill of waste. *Official Journal L* 182, 16 July 1999, pp. 1-19.
2. Directive 2008/98 / EC of the European parliament and of the council. *Official Journal of EC L* 312/3, 22 November 2008, pp. 3-30.
3. Korniyev A.U., Shykhaliev I.M., Ostrykov V.V. Otrymannya plastychnykh mastyl na osnovi vidprats'ovanykh masel [Preparation of greases based on used oils] // *Nauka v tseentral'nyy Rosiyi*, 2013, no 6, pp. 227–228.
4. Skobel'tsin A.S., Nimets' V.L. Doslidzhennya mozhlyvosti vykorystannya vidprats'ovanykh motornykh masel v yakosti dyspersivnoho seredovyshtcha myl'nykh mastyl [Study of the possibility of using used motor oils as a dispersion medium of soap greases] // *Naftopereobka i naftokhimiya. Naukovo-tekhichni dosyahnennya i peredoviy dosvid*. 2005, no 9, pp. 32–37.
5. Ravi Dixena, Eltepu Sayanna, Rajendra Badoni. *Recycled and Virgin HDPEs as Bleed Inhibitors and Their Rheological Influences on Lubricating Greases Thickened with PP and mPP* // *Lubricants*. 2014, no 2, pp. 237–248.
6. Iheme C., Offurum J., Chukwuma F. *Production and Blending of Sodium Based Water-Resistant Lubricating Greases from Petroleum and Petrochemical By-Products* // *American Journal of Computer Science and Engineering Survey*, 2014, no 2, pp. 070–078.
7. Manh T. *Lubricants. Production, application, properties: reference book*. St. Petersburg: OCP "Profession", 2010. 944 p. (Rus. ed.: Manh T. *Zmashchennya. Vyrobnystvo, zastosuvannya, vlastyvoli: dovidnyk*. SPb.: TSOP «Profesiya», 2010. 944 p.).
8. Fuks I.H., Shibryaev I.H. *Sklad, vlastyvoli i vyrobnystvo plastychnykh mastyl* [Composition, properties and production of greases]. M.: Derzhavna akademiya nafty i hazu im. I. M. Hubkina, 1992. 153 p.
9. Kharchenko M.A. *Korelyatsiyny analiz: navchal'nyy posibnyk dlya vuziv* [Correlation Analysis: A Textbook for Universities]. Voronezh: VDU. 2008. 31 p.
10. Ferster E. *Methods of correlation and regression analysis*. Finance and Statistics, 1983. 302p (Rus. ed.: Ferster E. *Metody korelyatsiynoho i rehresiyynoho*. Finansy i statystyka. 1983. 302 p.).

Надійшла (received) 15.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Григоров Андрій Борисович (Grigorov Andrey Borisovich) – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій переробки нафти, газу та твердого палива, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5370-7016>; e-mail: grigorovandrey@ukr.net